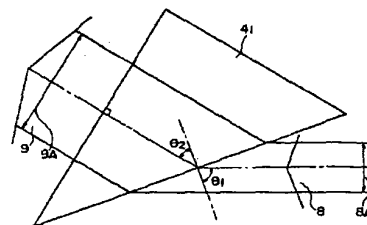


(54) NARROW-BAND OPTICAL ELEMENT

(11) 5-291674 (A) (43) 5.11.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 4-83941 (22) 6.4.1992
 (71) MITSUBISHI ELECTRIC CORP (72) SHUNGO TSUBOI(2)
 (51) Int. Cl.⁵ H01S3/1055, G02B5/04, G02B27/00, H01S3/10

PURPOSE: To increase a beam enlarging ratio, to efficiently narrow a laser light and to narrow a wavelength width by forming a prism beam expander of high refractive index substance having higher refractive index than that of quartz.

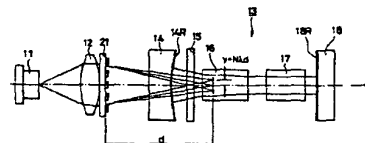
CONSTITUTION: A prism beam expander 41 is formed in a side face shape exhibiting a right angle triangular shape, and its material is formed of high refractive index substance having higher refractive index than that of quartz and hence a sapphire. The prism 41 is, for example, so disposed in a resonator as to emit an incident light 8 of a laser light to an oblique surface of the prism 41 at an incident angle θ_1 of an incident angle 8A and to perpendicularly emit to a surface opposed to a grating, i.e., a surface formed with a reflection preventive film 41A to emit to an air layer in a state that a beam is enlarged like an emitting width 9A. An incident area to the grating is increased by the prism 41 of the sapphire, and the laser light can be efficiently narrowed.

**(54) LASER LIGHT GENERATOR**

(11) 5-291675 (A) (43) 5.11.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 4-114237 (22) 8.4.1992
 (71) SONY CORP (72) SHIGEO KUBOTA(1)
 (51) Int. Cl.⁵ H01S3/109, H01S3/094

PURPOSE: To correct anisotropy of an emitting angle of an exciting laser light, to improve lateral and longitudinal symmetry of an exciting area in a laser medium and to enhance an S/N ratio by providing an exciting laser light source having anisotropy of an emitting angle and at least one diffraction grating to the resonator.

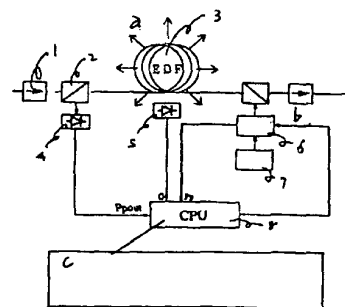
CONSTITUTION: A gain waveguide type laser diode 11 of a semiconductor laser element as an exciting laser light source has anisotropy of an emitting angle. An exciting laser light emitted from the diode 11 is incident to laser medium 16. A phase diffraction grating 21 is disposed fixedly at an opposite side of a resonator 13 of a condensing lens 12 to a concave mirror 14 between the diode 11 and the resonator 13. A plurality of images are focused in a connecting perpendicular direction of the diode 11 by the grating 21 to increase the exciting luminous flux width in the perpendicular direction, thereby approaching it to the exciting luminous flux width of a connecting parallel direction.

**(54) OPTICAL AMPLIFIER**

(11) 5-291676 (A) (43) 5.11.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 4-91218 (22) 10.4.1992
 (71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> (72) KAZUO AIDA(2)
 (51) Int. Cl.⁵ H01S3/13, H01S3/07, H01S3/094, H01S3/10

PURPOSE: To fix an exciting light wavelength to an optimum exciting wavelength of a rare earth element-added fiber and to realize an optical amplifier having a high efficiency and low noise by controlling a wavelength of an exciting light with the optimum exciting wavelength as a target by utilizing a table or a calculator in which an exciting light loss, a signal gain and the exciting light wavelength are related.

CONSTITUTION: A rare earth element-added fiber optical amplifier has a table or a calculator in which an exciting light loss, a signal gain and an exciting light wavelength are related. Thus, the exciting light wavelength can be reversely calculated from a monitored signal gain and exciting light loss. Accordingly, if the exciting light wavelength is deviated from an optimum exciting wavelength, the wavelength of the exciting light is controlled with the optimum exciting wavelength as a target, and hence the exciting light wavelength can be fixed to the optimum wavelength. If the gain is not controlled to a predetermined value, the exciting wavelength can be fixed to the optimum wavelength by the table or a calculation formula in which the gain and the loss are related in the optimum exciting light wavelength.



6: exciting light source, 7: exciting circuit, a: natural emitting light, b: wavelength gain c: table describing relationship among exciting light wavelength, signal gain and exciting light wavelength, 2: calculate exciting wavelength from signal gain, exciting light loss, 3: control exciting wavelength optimum wavelength as target

(11)特許出願公開番号

特開平5-291676

(43)公開日 平成5年(1993)11月5日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

H O I S 3/13
3/07
3/09
3/10

8934-4M

8934-4M

3/094

Z 8934-4M

8934-4M

H O I S 3/ 094

S

審査請求 未請求 請求項の数19(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-91218

(22)出願日 平成4年(1992)4月10日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 相田 一夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 増田 浩次

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 中川 清司

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

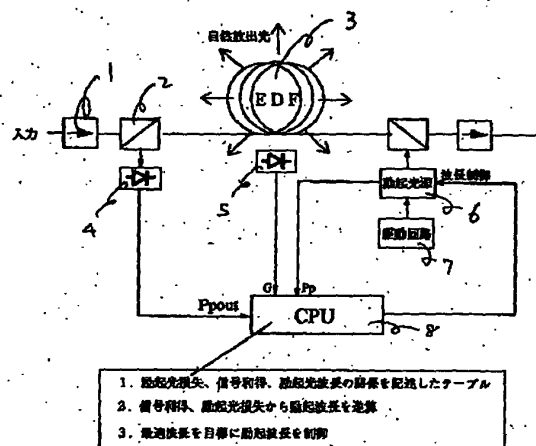
(74)代理人 弁理士 澤井 敬史

(54)【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【目的】光増幅器の利得を長期に渡り安定させ、かつ励起光電力の急激な増加による励起LDの長寿命化を図るために励起光源の波長を最適波長に制御する回路を提供する。

【構成】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、光信号の入出力電力や利得、励起光の電力、ファイバ中の励起光損失等を測定する手段を有し、これらの測定結果から励起光源の波長を算出し、励起光源の波長が増幅媒体を励起する上で最適な波長となるように励起光源であるLDの動作温度を変化させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、信号の利得ならびに希土類添加ファイバを通過する励起光の損失を測定する手段、さらに損失、利得および励起光波長を関係づけたテーブルあるいは演算部を有し、利得と損失から励起光波長を算出し、この励起光波長が最適励起波長からずれている場合、励起光の波長を最適励起波長を目標に制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項2】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、信号の利得ならびに希土類添加ファイバを通過する励起光の損失を測定する手段、さらに最適励起光波長において利得と損失（最適損失）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、測定された損失が最適損失よりも小さい場合に最適損失を目標に励起光波長を制御すること、あるいは測定された利得が最適利得よりも小さい場合に最適利得を目標に励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項3】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、信号の利得ならびに希土類添加ファイバを通過する励起光の損失を測定する手段、さらに最適励起光波長において利得と損失（最適損失）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、測定された利得が最適利得よりも小さい場合に最適利得を目標に励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項4】請求項1、2の構成に入射信号電力あるいは出力信号電力を検出する手段を付与し、励起光電力に帰還をかけて出力信号電力を安定化させることを特徴とする光増幅器

【請求項5】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力ならびに希土類添加ファイバを通過する励起光の損失を測定する手段を有し、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御動作を停止し停止前の制御値を保持することを特徴とする光増幅器。

【請求項6】利得安定化制御された光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、希土類添加ファイバを通過する励起光の損失を測定する手段を有し、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項7】請求項6の構成に入射信号電力あるいは出力信号電力を検出する手段を付与し、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけることを特徴とする光増幅器

【請求項8】請求項6、7において利得安定化の手段として励起光源の出力を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項9】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力、信号の利得ならびに励起光電

力を測定する手段を備え、入力信号電力が時間的に安定している時に、同一の励起光電力にたいして利得が最大となるように励起光波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御の動作を停止し停止前の制御値を保持することを特徴とする光増幅器。

【請求項10】利得一定制御された光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力を測定する手段を備え、入力信号電力あるいは出力信号電力が時間的に安定している時に、同一の利得に対して励起光電力が最小となるように励起光波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御の動作を停止し停止前の制御値を保持することを特徴とする光増幅器。

【請求項11】出力信号電力一定制御された光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力を測定する手段を備え、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光電力が最小となるように励起光波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御の動作を停止し停止前の制御値を保持することを特徴とする光増幅器。

【請求項12】請求項10の構成において、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけることを特徴とする光増幅器

【請求項13】光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力を測定する手段、さらに最適励起光波長において利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、励起電力が同一の最適励起波長よりも測定された利得が小さい場合、最適利得を目標に励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項14】出力信号電力一定制御された光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力を測定する手段、さらに最適励起光波長において利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、測定された利得に対して励起光電力が最適励起電力よりも大きい場合、最適励起電力を目標に励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項15】利得一定制御された光励起による希土類添加ファイバ光増幅器において、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力を測定する手段、さらに最適励起光波長において利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）お

および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、測定された利得に対して励起光電力が最適励起電力よりも大きい場合、最適励起電力を目標に励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項16】請求項15において利得が一定値となるように励起光源の電力に帰還をかけることを特徴とする光増幅器。

【請求項17】請求項15の構成において、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけることを特徴とする光増幅器。

【請求項18】請求項1～4、6～17において増幅器の利得検出手段として希土類添加ファイバの側面から放出される自然放出光を利用することを特徴とする光増幅器。

【請求項19】請求項1～18において増幅器の励起光源として半導体レーザを適用し、動作温度を変化させて励起光波長を制御することを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光伝送方式や光信号処理において必要とされる光ファイバ増幅器の構成法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】0.98 μ m帯励起のエルビウムドープ光ファイバ（以下EDFと記す）は低雑音で、しかも小さな励起電力で高利得が得られることが知られているが、最適波長から励起波長が変化すると急激に利得が低下するので、励起光源に対して数nm程度の波長精度が要求されていた。

【0003】このため、励起用半導体LDの発振波長がEDFの最適励起波長と一致するようにEDF光増幅器を組み立てる時点においてLDの動作温度を調整し、その後は温度制御回路によりLDの動作温度が初期状態を保つような制御が行なわれていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来の制御系では、励起光波長を直接モニタしていないので、長期間の波長安定性は必ずしも保証されていなかった。このため、長期の使用にともない利得が低下する恐れがあった。また、利得一定制御回路が付加されている増幅器では最適励起波長から外れた所で初期の利得を確保するような制御がなされるので励起光電力が急増し、励起LDの寿命を短くする等の問題があった。

【0005】本発明は、これらの問題を解決するため、励起光源の波長を希土類添加ファイバの最適励起波長に制御する回路を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の基本構成

を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ光増幅器の利得をモニタする回路、希土類添加ファイバに入射される励起光電力と出力された励起光電力の検出回路、励起光の損失の演算回路および、励起光損失、信号利得および励起光波長を関係づけたテーブル、励起光波長の制御回路、モニタした信号利得ならびに励起光の損失から励起光波長を逆算する演算回路より構成され、励起光波長が最適励起波長からずれている場合、励起光の波長を最適励起波長を目標に制御している。

【0007】図2は本発明の第2の構成を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ光増幅器の利得をモニタする回路、希土類添加ファイバに入射される励起光電力と出力された励起光電力の検出回路、励起光の損失の演算回路および、最適励起波長における励起光損失と信号利得を関係づけたテーブル、励起光波長の制御回路、モニタした信号利得から最適励起光の損失を逆算する演算回路より構成され、励起光損失が最適損失からずれている場合、最適励起損失を目標に励起光波長を制御している。

【0008】図3は本発明の第3の構成を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ光増幅器の利得をモニタする回路、希土類添加ファイバに入射される励起光電力と出力された励起光電力の検出回路、励起光の損失の演算回路および、最適励起波長における励起光損失と信号利得を関係づけたテーブル、励起光波長の制御回路、モニタした励起光損失から最適信号利得を逆算する演算回路より構成され、信号利得が最適利得からずれている場合、最適利得を目標に励起光波長を制御している。

【0009】図4は本発明の第4の構成を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ光増幅器の利得をモニタする回路、希土類添加ファイバに入射される励起光電力と出力された励起光電力の検出回路、励起光の損失の演算回路および、最適励起波長における励起光損失と信号利得を関係づけたテーブル、励起光波長の制御回路、モニタした信号利得から最適励起光の損失を逆算する演算回路、出力信号電力の安定化回路より構成され、励起光損失が最適損失からずれている場合、最適励起損失を目標に励起光波長を制御している。

【0010】図5は本発明の第5の構成を表わすブロック図である。入射信号モニタ、励起光損失モニタを設けており、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御している。図6は本発明の第6の構成を表わすブロック図である。利得をモニタする回路、希土類添加ファイバに入射される励起光電力と出力された励起光電力の検出回路、励起光の損失の演算回路を有し、利得一定制御が行なわれ、励起光の損失が最大となるように励起光波長を制御している。

【0011】図7は本発明の第7の構成を表わすブロック図である。図6の構成を基本とし、出力信号電力を適

当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけるようにしている。図8は本発明の第8の構成を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ増幅器への入力信号電力が時間的に安定している時に、同一の励起光電力にたいして利得が最大となるように励起光の波長を制御するようにしている。

【0012】図9は本発明の第9の構成を表わすブロック図である。希土類添加ファイバ増幅器は利得一定制御が行なわれており、入力信号電力あるいは出力信号電力が時間的に安定している時に、同一の利得に対して励起光電力が最小となるように励起光の波長を制御するようにしている。図10は本発明の第10の構成を表わすブロック図である。最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、入射信号電力、信号の利得ならびに励起光電力の測定系を設けている。テーブルを参照し、信号電力と励起電力から逆算される最適利得よりも利得が*

$$\alpha = F(\text{信号利得、信号波長、励起波長})$$

表わされる。さらに、具体的には、

$$\alpha = \exp \left\{ (\log G + \alpha_s L) \eta_s (\sigma_s^* + \sigma_s) / \{ \eta_s (\sigma_s^* + \sigma_s) \} - \rho \eta_s \sigma_s L \right\}$$

G: 信号利得

ρ : エルビウム添加密度

σ_s^* : 信号波長における吸収断面積

σ_s : 信号波長における誘導放出断面積

σ_s^* : 励起波長における吸収断面積

σ_s : 励起波長における誘導放出断面積

η_s : 信号波長のオーバーラップファクタ

η_s : 励起波長のオーバーラップファクタ

α_s : 非励起時の微小信号レベルに対するEDFの損失で表わされる。ここで、 σ_s^* 、 σ_s 、 η_s は励起波長の関数となっている。一般的に信号光波長は一定であるので、損失 α は利得Gと励起波長 λ_s の関数となる。従って、損失 α と利得Gをモニタすることにより、式1あるいは2を逆算することにより、その時の励起波長を知ることが出来る。また、利得、励起波長、損失の関係をテーブルの形で記憶しておくことにより、励起波長を知ることが出来る。従って、最適励起光波長を目標に励起光波長を制御することができる。

【0015】ある利得Gに対して、損失 α を最大とする励起波長が最大の励起効率を与える最適波長である（即ち、励起光が希土類元素に最も効率的に吸収され、希土類元素を励起状態にする）。従って、利得が一定値に制御されている場合には、損失 α が最大となるように励起光波長を制御することにより、励起波長を最適波長に固定することができる。一方、利得Gが一定値に制御されていない場合には、最適励起光波長において利得と損失（最適損失）を関係づけるテーブルあるいは計算式により、測定された損失が最適損失よりも小さい場合、最適

* 小さい場合、最適利得を目標に励起光波長を制御している。

【0013】図11は本発明の第11の構成を表わすブロック図である。最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有し、入射信号電力と出力信号電力、信号利得の演算回路ならびに励起光電力の測定系を設けて、利得一定となるように励起光レベルが制御されている。このとき、テーブルを参照し信号電力と利得から逆算される最適励起光電力よりも励起光電力が大きい場合、最適励起光電力を目標に励起光波長を制御している。

【0014】

【作用】本発明の効果を以下に説明する。希土類添加ファイバを通過する励起光の損失 α は、希土類添加ファイバ増幅器の利得をGとすると、信号利得、信号波長および励起波長の関数として

$$(1)$$

$$(2)$$

損失を目標に励起光波長を制御することにより励起波長を最適波長に固定することができる。

【0016】上記のように、損失 α は利得G及び励起波長の関数となっているが、利得Gは入射信号電力の関数ともなっている。利得一定制御が行なわれていない場合には入射信号レベルの変化にともない利得Gが変動し、その結果、損失 α が変化する。従って、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御動作を停止し停止前の制御値を保持することで、励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0017】一方、希土類添加ファイバ増幅器の利得Gは励起光電力 P_s 、励起光波長 λ_s 、入射信号電力 P_{in} （あるいは出力信号電力 P_{out} ）、信号光波長 λ_s の関数として表わすことができる。最適励起波長においては、同一の励起光電力に対して最大の利得を与える。入射信号電力が変わってもこの性質は同じであるが、利得は変化する。そこで、入力信号電力が時間的に安定している時に、同一の励起光電力にたいして利得が最大となるように励起光波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御の動作を停止し停止前の制御値を保持することにより励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0018】一方、最適励起波長においては、同一の利得に対しては最小の励起光電力を与える。入射信号電力が変わってもこの性質は同じであるが、同一の利得を与える励起光電力は変化する。そこで、入力信号電力ある

いは出力信号電力が時間的に安定している時に、同一の利得に対して励起光電力が最小となるように励起光波長を制御し、入力信号電力に時間的変動がある時は、励起光波長制御の動作を停止し停止前の制御値を保持することで励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0019】また、最適励起光波長における利得 G と励起光電力 P_e 、入射信号電力 P_{in} （あるいは出力信号電力 P_{out} ）の関係をテーブル形式あるいは関数系として記憶しておけば、モニタした利得と入射信号電力 P_{in}

（あるいは出力信号電力 P_{out} ）から最適励起光電力 P_e を知ることが出来る。従って、現在の励起光電力が最適励起電力よりも大きい場合、最適励起電力を目標に励起光波長を制御することにより励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0020】次に、本発明の作用を各図面について説明する。図1の希土類添加ファイバ光増幅器においては、励起光損失、信号利得および励起光波長を関係づけたテーブルあるいは演算部を有する構成としている。このため、モニタした信号利得ならびに励起光の損失から励起光波長を逆算することが可能となる。従って、励起光波長が最適励起波長からずれている場合、励起光の波長を最適励起波長を目標に制御しているので励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0021】図2の希土類添加ファイバ光増幅器においては、最適励起光波長における励起光損失と信号利得を関係づけたテーブルあるいは演算部を有する構成としている。このため、モニタした信号利得から最適励起光損失を逆算することが出来る。モニタした損失が最適損失よりも小さい場合、最適損失を目標に励起光波長を制御し、励起光波長を最適波長に固定することができる。なお、本構成に必要とされるテーブルは最適励起光波長に関するデータだけを収容すればよいので、図1の構成に必要なテーブルよりも小さく実現が容易である。

【0022】図3の希土類添加ファイバ光増幅器においては、モニタした励起光損失から最適信号利得を逆算し、モニタした利得が最適利得よりも小さい場合、最適利得を目標に励起光波長を制御し、励起光波長を最適波長に固定している。図4の希土類添加ファイバ光増幅器においては、図2の構成を基本とし、さらに出力信号モニタ回路の出力をもとに励起光電力に帰還をかけて出力信号電力を安定化させている。この結果、励起光波長の制御により出力信号電力が変動することを防止している。

【0023】図5の希土類添加ファイバ光増幅器においては、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御するようにしている。このため、テーブルが不用で構成が簡単となる利点がある。ただし、入力信号電力に時間的変動がある時は制御を停止する必要があるので、波長制御回路の動作条件に制限が加えられる。

【0024】図6の希土類添加ファイバ光増幅器においては利得一定制御の下で、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御している。このため、テーブルが不用となり構成が簡単で、確実な波長制御が実現される。図7の希土類添加ファイバ光増幅器は図6の構成を基本とし、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけるようにしている。利得一定制御光増幅器を基本として出力一定制御光増幅器に機能を拡大している。

10 【0025】図8の希土類添加ファイバ光増幅器は入力信号電力が時間的に安定している時に、同一の励起光電力にたいして利得が最大となるように励起光の波長を制御するようにしている。このため、テーブルが不用で構成が簡単となる利点がある。ただし、入力信号電力に時間的変動がある時は制御を停止する必要があるので、波長制御回路の動作条件に制限が加えられる。

20 【0026】図9の希土類添加ファイバ光増幅器は利得一定制御が行なわれており、入力信号電力あるいは出力信号電力が時間的に安定している時に、同一の利得に対して励起光電力が最小となるように励起光の波長を制御するようにしている。このため、テーブルが不用で構成が簡単となる利点がある。ただし、入力信号電力に時間的変動がある時は制御を停止する必要があるので、波長制御回路の動作条件に制限が加えられる。

30 【0027】図10の希土類添加ファイバ光増幅器においては、最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有している。さらに、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力の測定系を設けている。従って、テーブルを参照し、信号電力と励起電力から逆算される最適利得よりも利得が小さい場合、最適利得を目標に励起光波長を制御することにより励起波長を固定することが出来る。

40 【0028】図11の希土類添加ファイバ光増幅器においては、最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルあるいは演算部を有している。さらに、入射信号電力または出力信号電力あるいは両者、信号の利得ならびに励起光電力の測定系を設けている。本構成例においては、利得一定となるように励起光レベルを制御する。このとき、テーブルを参照し信号電力と利得から逆算される最適励起光電力よりも励起光電力が大きい場合、最適励起光電力を目標に励起光波長を制御することにより励起波長を固定することが出来る。

【0029】

50 【実施例】図12は請求項6、8、18及び19に基づく希土類添加ファイバ光増幅器の構成例を示す。EDFはコイル状に巻かれその側面に光検出器を設置してい

る。この結果、光検出器の光電流 I_p は

$$I_p \propto \sum_{k=1}^n P_{s,k}(L_k) = \{P_{s,k}(L_k)\} dL$$

近似的に自然放出光電力をファイバ長にわたり積分した値に比例した値となり、利得Gの情報を与える。

【0030】励起光の損失はEDFへ入射された励起光電力、及び出力された励起光電力をモニタしCPUへ入力して求めている。励起光源には半導体LDを適用し駆動電流に帰還をかけて励起光電力を制御し、動作温度を変えて励起波長を制御する構成としている。外部から利得設定値を入力し、この値を達成するように励起電力を調整し利得を一定(AGC制御)にする。ただし、励起光波長が大幅にずれていると励起光電力には限界があるのでAGC制御系が動作しない場合がある。この場合は、励起光波長を最適励起波長に引き込むまでの間は利得を低く設定しAGC動作を可能とし、その後、正規の目標利得に設定し直す。

【0031】次に、AGC動作が行なわれている状態で、半導体LDの動作温度を変化させて、励起光損失が最大となるよう温度制御を行なう。この制御系においては励起光波長を動かしてみないと、最適励起波長に対する位置関係が判らない。そこで、ディッサにより温度を微小量変動させその時の損失 α の応答から制御方向を判定し、制御を行なう。この結果、励起光波長は最適励起波長に固定され、さらに利得も一定値に制御される。

【0032】図13は請求項6、7、8、18及び19に基づく希土類添加ファイバ光増幅器の構成例を示す。図12を基本とし、出力信号電力を検出する手段を付与し、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけている。この結果、励起光波長は最適励起波長に固定され、さらに出力信号電力も一定値に制御される。

【0033】図15に請求項15、16、18及び19に基づく希土類添加ファイバ光増幅器の構成例を示す。EDFはコイル状に巻かれその側面に光検出器を設置している。この結果、光検出器の光電流 I_p は、図13の例と同様、近似的に自然放出光電力をファイバ長にわたり積分した値に比例した値となり、利得Gの情報を与える。

【0034】EDFへ入射された励起光電力、及び出力信号光電力をモニタしCPUへ入力している。励起光源には半導体LDを適用し駆動電流に帰還をかけて励起光電力を制御し、動作温度を変えて励起波長を制御する構成としている。外部から利得設定値を入力し、この値を達成するように励起電力を調整し利得を一定(AGC制御)にする。ただし、励起光波長が大幅にずれていると励起光電力には限界があるのでAGC制御系が動作しない場合がある。この場合は、励起光波長を最適励起波長に引き込むまでの間は利得を低く設定しAGC動作を可

能とし、その後、正規の目標利得に設定し直す。

【0035】CPUにより、最適励起光波長において利得(最適利得)、入射信号電力(または出力信号電力)および励起光電力(最適励起電力)を関係づけるテーブルあるいは関係式を参照して、利得に対して励起光電力が最適励起電力よりも大きい場合、最適励起電力を目標に半導体LDの動作温度を変化させ励起光波長を制御する。この制御系においては励起光波長を動かしてみないと、最適励起波長に対する位置関係が判らない。そこで、ディッサにより温度を微小量変動させその時の励起光電力の応答から制御方向を判定し、制御を行なう。この結果、励起光波長は最適励起波長に固定され、さらに利得も一定値に制御される。

【0036】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば励起光波長を希土類添加ファイバの最適励起波長に固定させることができ、高効率で低雑音な光増幅器を実現することが出来る。本発明の請求項1においては、励起光損失、信号利得および励起光波長を関係づけたテーブルあるいは演算部を利用し、最適波長を目標に、励起光波長を最適波長に固定することができる。

【0037】本発明の請求項2においては、最適波長における励起光損失、信号利得および励起光波長を関係づけたテーブルあるいは演算部を利用し、励起光の最適損失を目標に励起光波長を制御し、最適波長に固定することができる。本構成に要求されるテーブルは請求項1よりも小さく実現が容易である。本発明の請求項3においては、最適波長における励起光損失、信号利得および励起光波長を関係づけたテーブルあるいは演算部を利用し、最適利得を目標に励起光波長を制御し、最適波長に固定することができる。本構成に要求されるテーブルは請求項1よりも小さく実現が容易である。

【0038】本発明の請求項4においては、励起光電力に帰還をかけて出力電力を安定化させているので、励起光波長の制御により出力信号電力が変動することはない。本発明の請求項5においては、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御する。このため、制御のためのテーブルが不用で構成が簡単となる。

【0039】本発明の請求項6においては、利得一定制御の下で励起光の損失が最大となるように励起光の波長を制御する。このため、制御のためのテーブルが不用で構成が簡単となるとともに、入力信号が変動している場合も波長制御が可能である。本発明の請求項7においては請求項6を基本とし、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に

帰還をかけているので、励起光波長の制御により出力信号電力が変動することなく、信号のパターン効果等による波形歪の防止される。

【0040】本発明の請求項8においては請求項6、7を基本とし、励起光源の出力を制御し利得安定化を図っているので、構成が簡単である。本発明の請求項9においては、入力信号電力が時間的に安定している時に、利得を最大となるように励起光波長を制御している。このため、制御のためのテーブルが不用で構成が簡単となる。

【0041】本発明の請求項10においては、利得一定制御が行なわれている状態で、入力信号電力あるいは出力信号電力が時間的に安定している時に、励起光電力が最小となるように励起光波長を制御している。このため、制御のためのテーブルが不用で構成が簡単となるとともに、利得変動もない。本発明の請求項11においては、出力信号電力一定制御が行なわれている状態で、入力信号電力が時間的に安定している時に、励起光電力が最小となるように励起光波長を制御している。このため、制御のためのテーブルが不用で構成が簡単となるとともに、出力信号電力の変動もない。

【0042】本発明の請求項12においては、請求項10を基本とし、の構成において、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけているので、励起光波長の制御により出力信号電力が変動することなく、信号のパターン効果等による波形歪が防止される。本発明の請求項13においては、最適励起光波長において利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルを参照し、最適利得を目標に励起光波長を制御している。このため、入力信号が変動している場合も波長制御が可能である。

【0043】本発明の請求項（14）においては、出力信号電力一定制御が行なわれている状態で、最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルを参照し、最適励起電力を目標に励起光波長を制御している。このため、入力信号が変動している場合も波長制御が可能である。

【0044】本発明の請求項15においては、利得一定制御が行なわれている状態で、最適励起光波長における利得（最適利得）、入射信号電力（または出力信号電力）および励起光電力（最適励起電力）を関係づけるテーブルを参照し、最適励起電力を目標に励起光波長を制御している。このため、入力信号が変動している場合も波長制御が可能である。

【0045】本発明の請求項16においては請求項15を基本とし、利得制御の手段として励起光源の電力に帰還をかけている。このため、装置構成が簡単となる。本

発明の請求項17においては請求項15を基本とし、出力信号電力を適当な時定数で積分しその時間平均が一定となるように制御目標利得に帰還をかけている。このため、入力信号が変動している場合も波長制御が可能であり、励起光波長の制御により出力信号電力が変動することなく、信号のパターン効果等による波形歪も防止される。

【0046】本発明の請求項18においては請求項1～4、6～17を基本とし、増幅器の利得検出手段として希土類添加ファイバの側面から放出される自然放出光を利用している。このため、信号光の有無によらず利得をモニタすることができ確実な制御を可能としている。本発明の請求項19においては請求項1～18を基本とし、励起光源として半導体レーザを適用し、動作温度を変化させて励起光波長を制御している。このため、装置構成が簡単となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1の対応図

【図2】請求項2の対応図

【図3】請求項3の対応図

【図4】請求項4の対応図

【図5】請求項5の対応図

【図6】請求項6の対応図

【図7】請求項7の対応図

【図8】請求項9の対応図

【図9】請求項10の対応図

【図10】請求項13の対応図

【図11】請求項15の対応図

【図12】第1の具体的実施例

【図13】第2の具体的実施例

【図14】第3の具体的実施例である。

【符号の説明】

1ーアイソレータ

2ー波長多重合波器

3ーエルビウム添加ファイバ等の希土類添加ファイバ

4ー励起光モニタ

5ー自然放出光モニタ

6ー励起光源

7ー駆動回路

8ーCPU

9ー出力信号モニタ

10ー入力信号モニタ

11ー基準利得

12ー比較器

13ー利得算定回路

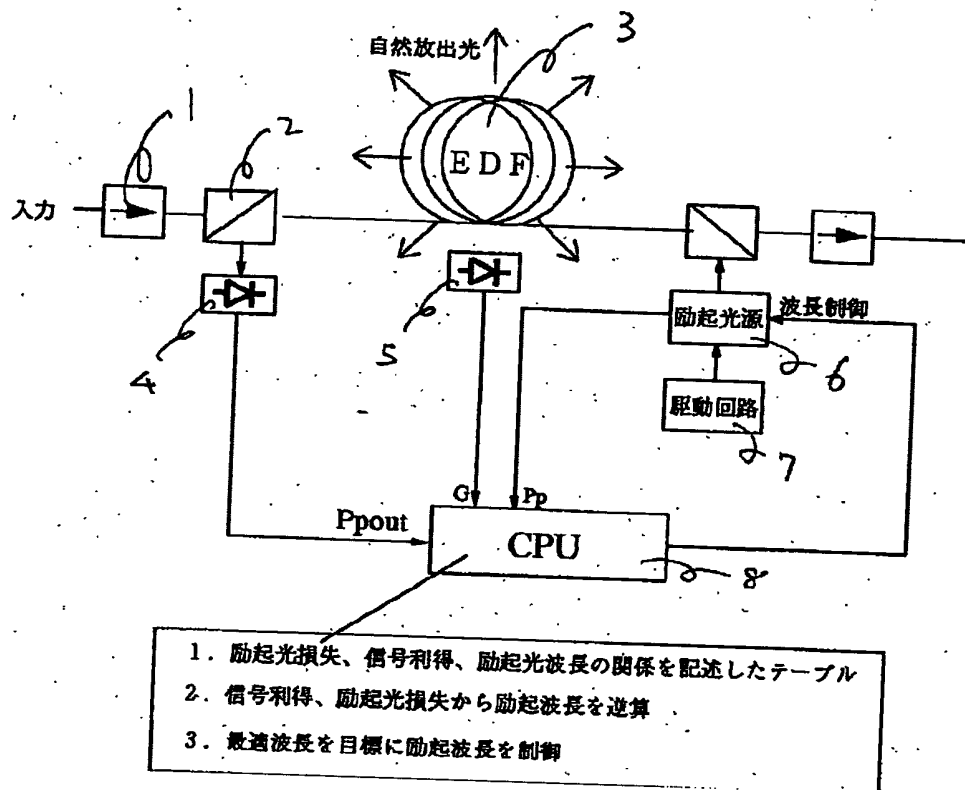
14ー温度制御素子ドライブ回路

15ーディッサ信号発生回路

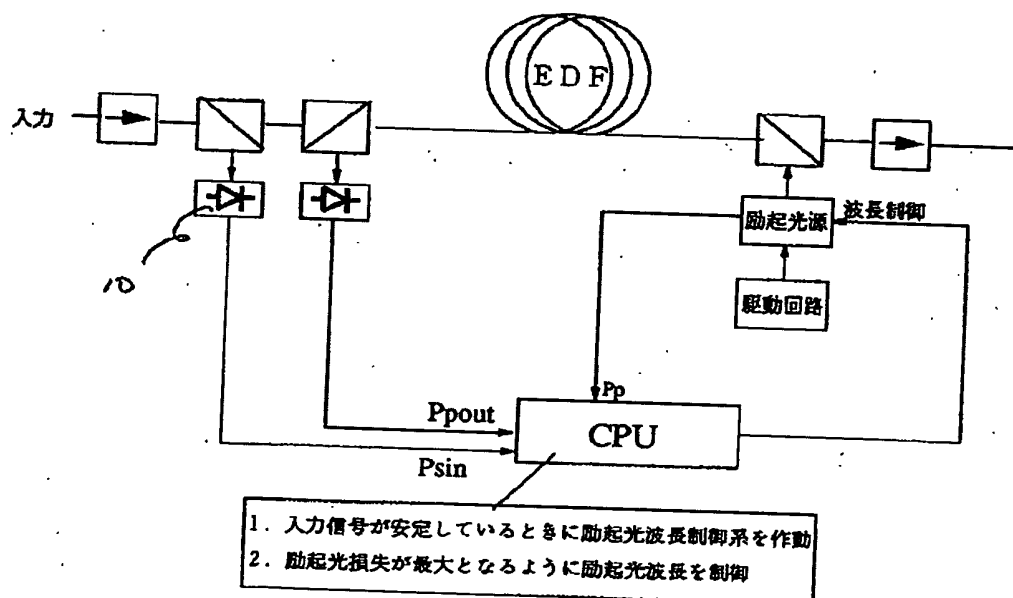
16ー温度制御素子

17ー初期利得設定回路

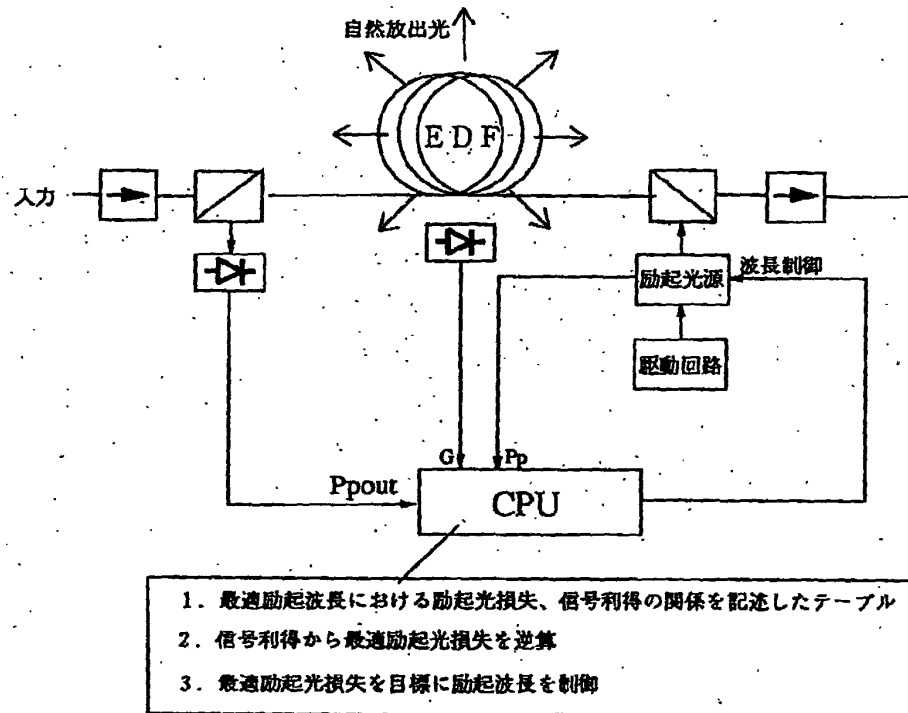
【図1】



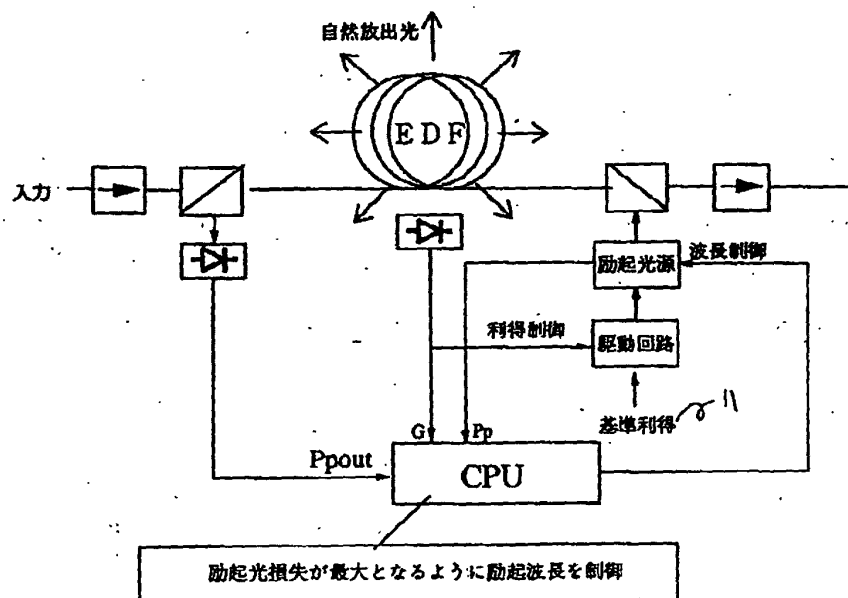
【図5】



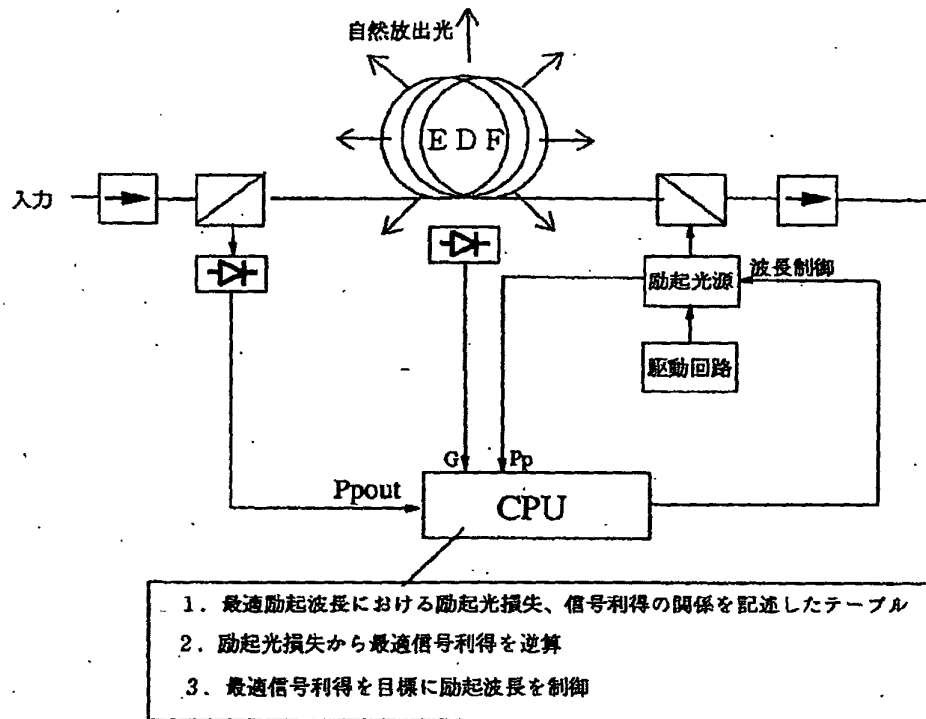
【図2】



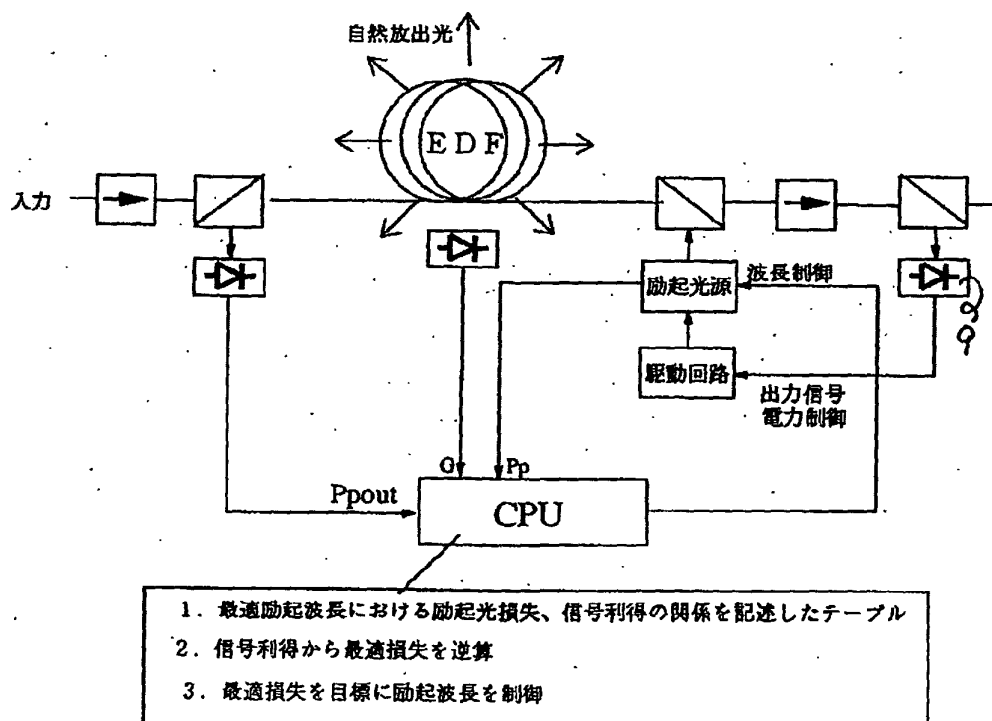
【図6】



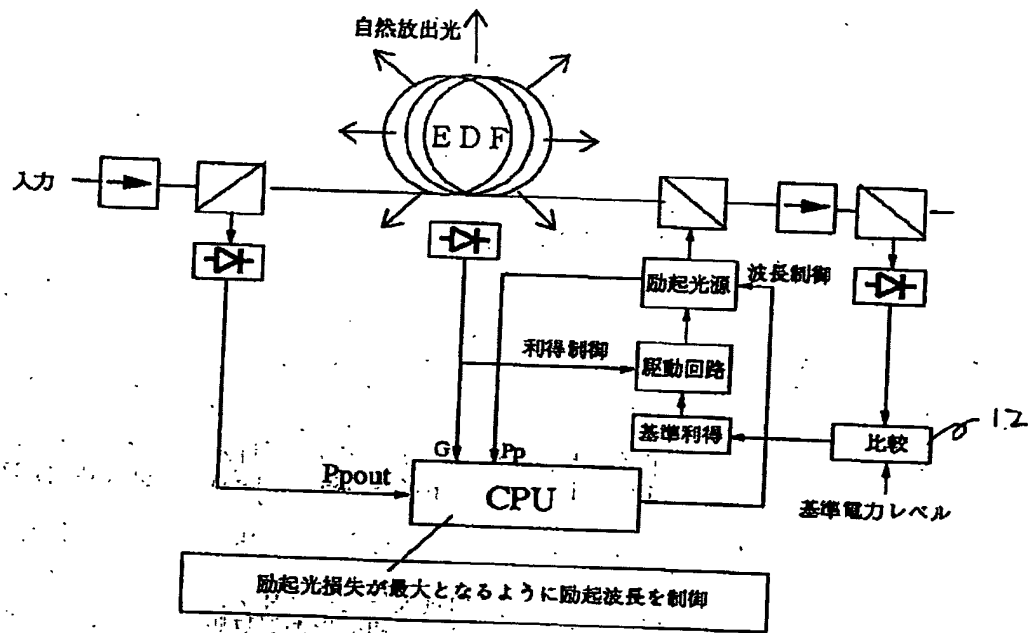
【図3】



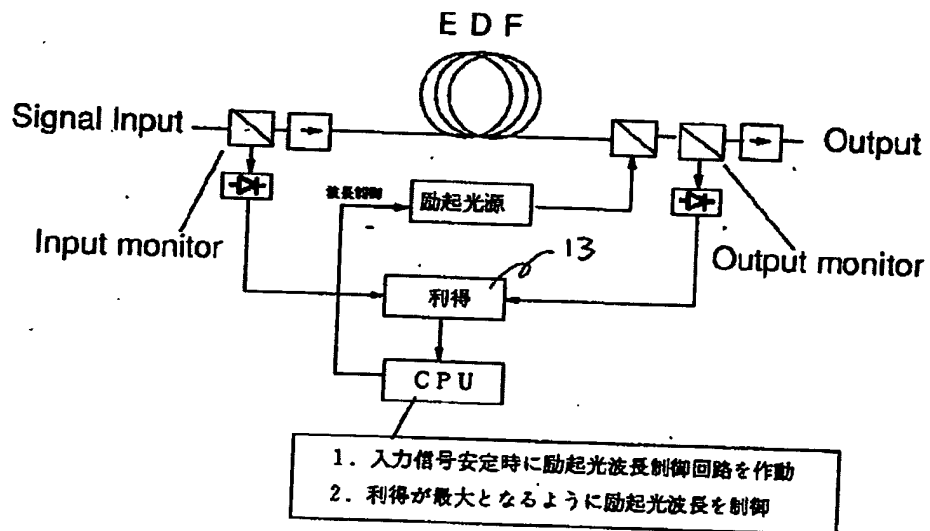
【図4】



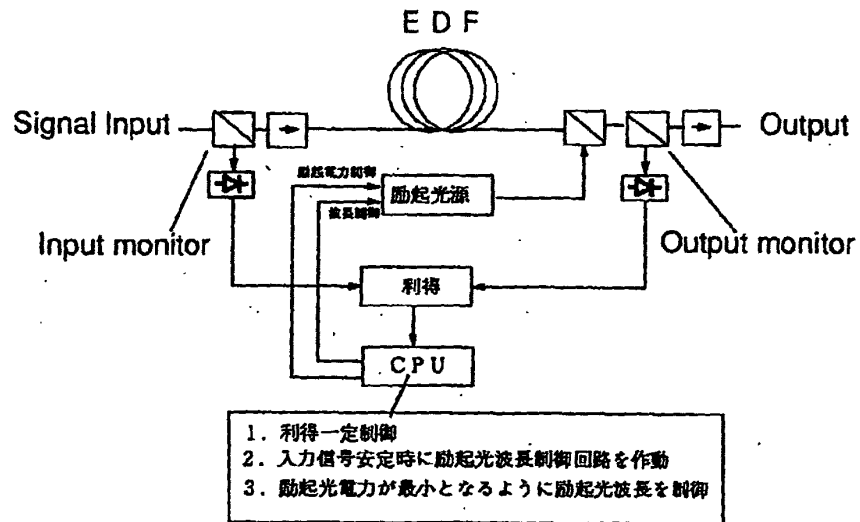
【図7】



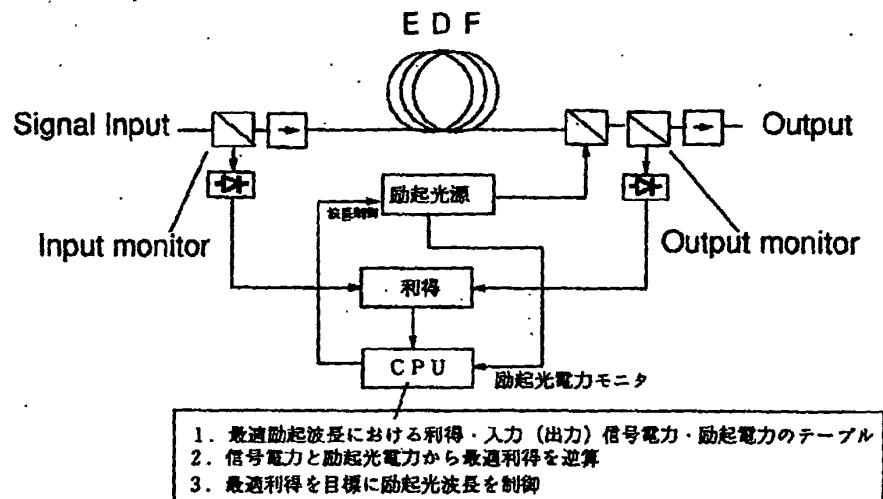
【図8】



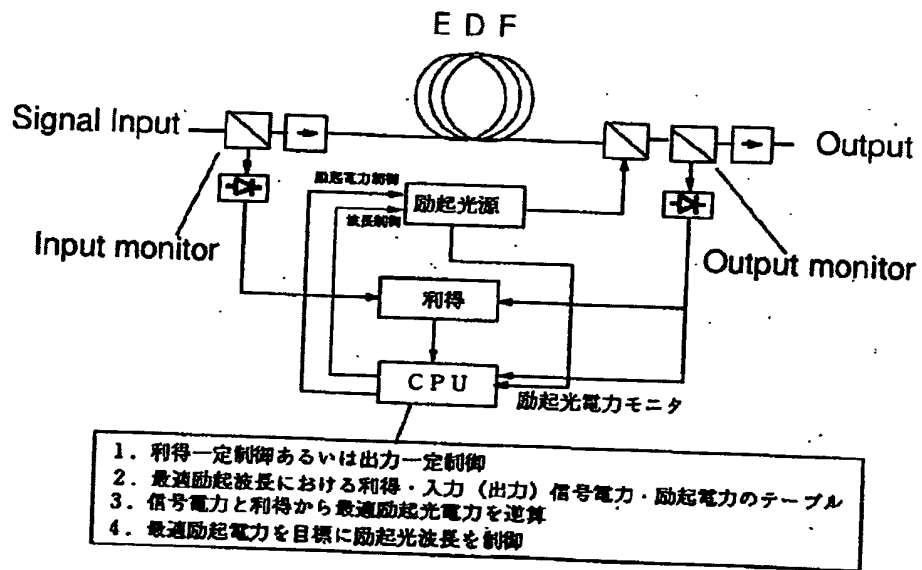
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

